

配电变压器过载运行风险与负荷调控策略研究

刁芳钰

国网天府新区供电公司 四川 成都 610000

【摘要】：配电变压器在长期运行中易因负荷波动而出现过载现象，使线圈温度迅速升高并加速绝缘老化，进而增加故障概率并影响配电系统供电可靠性。为降低过载带来的运行风险，需基于负荷特性开展精细化调控。通过对变压器热稳状态、负荷组成及实时变化规律的分析，可构建适应性强的负荷调控策略，实现对高峰负荷的削减与分散。结合智能监测设备获取的运行数据，可对潜在过载趋势进行预测，并在关键节点实施需求响应与负荷转移，从而显著减轻变压器热应力。此类策略不仅增强运行灵活性，也提升风险预警能力，为配电系统安全稳定运行提供支撑。

【关键词】：配电变压器；过载运行；负荷调控；需求响应；风险管理

DOI:10.12417/2811-0528.26.06.008

配电变压器在持续的供电任务中常面临负荷增长与需求波动带来的压力，若负荷超出额定范围，内部热量积聚速度将大幅提升，随之出现绝缘性能下降与故障风险攀升的隐患。近年来，负荷峰谷差不断扩大，使过载问题呈现更复杂的变化特征，对运行安全形成新的挑战。在此背景下，利用负荷调控策略对运行压力进行实时分配成为关键突破口。通过对负荷结构、时段特性与行为规律的深入研究，可在高负荷阶段采取灵活调节措施，使变压器保持在更为合理的运行状态。相关策略的完善不仅提升运行稳定性，也为后续风险治理奠定坚实基础。

1 配电变压器过载运行的风险机理分析

配电变压器在持续承载负荷的过程中，其内部电磁与热力状态会随着负荷水平的升高而出现显著变化。当负荷接近或超过额定值时，绕组铜耗与铁耗同步上升，使热量积聚速度大幅加快，油温与绕组温度逐步攀升。温升的提升破坏绝缘纸板与变压器油的介电性能，使绝缘老化速率呈指数型增长，最终导致介质强度下降^[1]。热—电耦合效应使线圈结构应力增大，长期处于高热环境下的内部材料无法保持原有稳定性，为击穿性故障埋下隐患。过载状态还会改变短路阻抗特性，使局部热点区更容易形成热失控，从而增加运行风险。

在负荷呈现高峰突增或昼夜差异明显的配电区域内，变压器的负荷曲线往往具有不稳定特征，运行压力呈现周期性集中。在这种条件下，电网末端电压会因过载而出现下跌，供电质量受到影响。若在高温季节或大规模电气设备同时运行期间发生负荷集中，散热条件进一步恶化，使油路循环效率降低，稳定温升范围被突破。此时温度梯度增大导致油中溶解气体成分发生变化，部分可燃气体含量增加，形成潜在预警信号。若未能及时识别与处理，绝缘系统的退化加速，进而表现为噪声异常、局放增强等早期失稳现象。

随着分布式能源接入与用户负荷结构变化趋势逐渐增强，配电变压器面临的负荷不确定性明显提升，过载风险呈现更复杂的动态特征。在多种负荷叠加运行条件下，热模型难以完全匹配实际状态，导致传统静态容量评估方式不再适用。部分区域在峰荷阶段出现非计划性负荷涌入，使运行状态偏离设计工况，热容量裕度被快速消耗。若负荷调节措施未能及时介入，热稳态难以形成，局部区域的磁密分布不均会使铁芯产生额外损耗，加重整体运行压力。由此形成的过载链式效应不仅提升故障概率，也使运行间断性增大，对配电系统的安全性构成持续挑战。

2 基于负荷调控的过载缓释路径

负荷调控在配电变压器过载治理中承担关键功能，通过对负荷时段特性、空间分布及用能行为的深入解析，可在过载形成之前构建多维度调节路径。负荷在高峰阶段往往呈现集中性增长，使变压器热应力快速上升，因此需要依托实时监测系统获取运行参数，通过动态阈值判断过载趋势，并在负荷逐步逼近临界点时启动调控措施^[2]。调控策略可依据负荷敏感度、用户类型与设备运行特征划分优先级，使高热敏区间中的负荷提前被分散。通过热模型与负荷模型的联动计算，可预测短期热积聚趋势，为调控策略提供量化依据，使调节行为具备更强的适应性。

在配电网络内部，负荷转移是缓解过载的重要路径，通过调整馈线间的潮流分配，使部分区域负荷转向备用容量较大的变压器，降低单台设备的热负荷压力。负荷转移需以潮流安全约束为前提，结合线路载荷率、节点电压和支路阻抗优化调节范围，使局部重载区得到疏导。采用智能开关设备与分段开关实现的区域化负荷切换，可在不中断供电的前提下完成负荷重新分配，提高分配效率。需求侧的调节能力在此过程中亦发挥重要作用，通过控制高耗能设备启停时间，使负荷曲线更平缓。

分时段响应机制可引导用户在低谷时段转移部分负荷,实现削峰填谷。

在智能化水平提升的背景下,基于数据驱动的调控路径日益成熟,通过将监测数据、环境参数和用能行为同步输入调控模型,可构建多场景自适应调节方案。部分区域采用边缘计算结合状态估计技术,实现对局部过载风险的快速判断,使调控响应时间显著缩短。对于具有较强随机性的负荷波动,可通过预测模型形成短期预警,实现提前调度。调控策略在执行过程中会对系统电压、潮流方向与功率因素产生协同影响,因此需在调节尺度与时序上保持准确控制,使变压器能够在热稳态区间内运行。通过多路径交互式调控,可使过载压力被持续削弱,使整个配电系统的运行环境保持在更接近设计工况的状态。

3 过载治理成效的综合评估与思路归纳

过载治理措施的实施成效需要在多维运行指标中得到体现,负荷调控策略对变压器内部热力状态、电压稳定性及设备老化速率产生直接影响,因此评估过程需围绕热稳态恢复程度、负荷曲线平滑度及关键运行参数变化展开。在调控策略介入后,绕组热点温度通常呈下降趋势,油温波动幅度减小,热积聚速率也得到抑制。热参数的改善会使绝缘退化指数趋于稳定,故障概率随之降低^[3]。负荷分配结构的优化使负载率维持在更合理的区间,供电电压的偏差值缩小,运行波动被有效收敛,从而形成更接近设计工况的运行生态。通过连续监测这些变化,可判断调控策略在不同运行场景下的适应能力。

在配电网运行层面,调控机制的完善能够提升系统整体的

潮流灵活性,重载区的电流分布趋于均衡,线路损耗也因潮流调整而有所下降。当负荷转移措施与需求响应机制协同运作时,负荷峰值被削减,高峰持续时间缩短,使变压器的热模型更易形成稳定状态。此外,智能化监测手段的应用使状态估计精度提高,为风险预警提供支撑。通过统计运行数据,可观察到负荷波动强度降低、节点电压稳定性增强、过载持续时间缩短等结果,这些变化共同构成治理成效的重要表征,反映调控路径在实际运行环境中的可靠性。

在治理经验不断积累的过程中,过载形成的驱动力、负荷分布规律与调控响应特征会逐渐显现,使治理思路能够在实践中不断完善。通过对历史运行数据的回溯分析,可构建不同场景下的负荷演化模式,使调控措施在执行时具备更明确的触发条件。研究负荷调控对不同类型变压器的影响特点,有助于形成分类化的治理方案,使调控策略更具针对性。随着监测系统与预测模型的进一步结合,运行模式呈现更高透明度,为持续抑制热应力、优化负荷结构及提升设备稳态运行能力奠定基础。

4 结语

负荷调控策略在过载治理中的实践结果展示了其对热应力削减、负荷结构优化与运行稳定性提升的显著价值。调控路径在多场景下表现出良好的适应能力,使变压器运行状态逐渐回归稳态区间。随着监测技术与预测模型的协同应用,过载风险识别更加及时,治理措施也更具针对性,为配电系统保持长期稳定运行提供了坚实支撑。

参考文献:

- [1] 韩东晖,贾尉冬,康健,等.配电变压器负载分配对电网稳定性的影响及优化[J].电力设备管理,2025,(07):288-290.
- [2] 李昕晨.动态负荷下配电变压器温度场分布特征及主动寿命延长策略[D].兰州交通大学,2024.
- [3] 石墨,许海林,李晖,等.基于多模态数据融合的油浸式配电变压器分级预警模型[J].广东电力,2022,35(12):110-117.